



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 11 035 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 05 H 1/46
H 01 S 3/0975
H 01 P 5/00

②1 Aktenzeichen: P 43 11 035.5
②2 Anmeldetag: 3. 4. 93
④3 Offenlegungstag: 17. 8. 95

DE 43 11 035 A 1

⑦1 Anmelder:
Uhlenbusch, J., Prof. Dr., 4000 Düsseldorf, DE

⑦2 Erfinder:
Uhlenbusch, Jürgen, Prof. Dr., 40255 Düsseldorf, DE;
Luo, Xiao, Dr., 40225 Düsseldorf, DE; Schäfer, J.H.,
Dr., 40225 Düsseldorf, DE

⑤4 Verfahren zur Zündung oder Anregung eines Gases mittels eingekoppelter Mikrowellen

DE 43 11 035 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zündung oder Anregung eines Gases mittels eingekoppelter Mikrowellen sowie eine Vorrichtung zur Zündung oder Anregung eines Gases mittels von einem Mikrowellensender ausgestrahlten Mikrowellen, bei der sich das Gas in einem von einem Mikrowellenhohlleiter umschlossenen aus dielektrischem Material bestehenden Gefäß befindet.

Es ist bekannt, in einem Gefäß befindliches Gas mittels Mikrowellen im GHz-Bereich, die in das Gas eingekoppelt werden, zu zünden oder anzuregen. Dabei kann eine Plasmaschicht entstehen, dessen Elektronendichte bei Überschreiten eines kritischen Wertes, der sogenannten "cut-off-Dichte", ein Reflektieren der Mikrowellen bewirkt. Aufgrund derartiger Reflexionen erhöht sich die elektrische Feldstärke zwischen Plasma und Sender und das Plasma dehnt sich weiter in Richtung der einfallenden Mikrowelle aus, bis die Einkoppelstelle, also eine entsprechende Gefäßwand oder ein Mikrowelleneintrittsfenster erreicht ist. Beim Überschreiten der kritischen Elektronendichte in Nähe der Einkoppelstelle wird die Mikrowelle vorzeitig reflektiert bzw. absorbiert und gelangt nicht mehr bestimmungsgemäß in den eigentlichen Gasraum.

Außerdem heizt sich die Plasmaschicht nahe der Einkoppelstelle immer mehr so auf, so daß Beschädigungen der Gefäßwand bzw. des Mikrowelleneintrittsfensters drohen.

Aufgrund dieser Schwierigkeiten ist beispielsweise der Betrieb eines CO₂-Gaslagers mittels Mikrowellenanregung uneffektiv (Schock, W., Lasser Kolloquium 85, 13 DFVLR-Institut für Technische Physik).

Um die sich aufheizende Plasmaschicht an der Einkoppelstelle zu vermeiden, hat man bei der DFVLR (Institut für Technische Physik) Mikrowellen in eine Düsenströmung mit hohem Druckgefälle eingekoppelt. Durch den Aufbau eines hohen Druckes hinter der Einkoppelstelle in Form eines dielektrischen Fensters wird eine Zündung in diesem Bereich verhindert. Die Zündung findet nur im Niederdruckbereich fern von der Düse und somit fern von der Einkoppelstelle statt.

Das Prinzip ist auf gasdynamische CO-Laser übertragen worden (P. Hoffmann, H. Hügel, W. Schall, W. Schock, J. Appl. Phys. Let. 37 (8), 1980, S. 673—674). Es ist jedoch wegen der erforderlichen hohen Druckdifferenz bei hohem Massendurchsatz aufwendig und kostspielig.

Gemäß OS-DE 374 325 8 A1 ist ein Verfahren zur elektrischen Anregung eines Gases mittels eingekoppelter Mikrowellen bei einem Laser bekannt, bei dem das Gasentladungsrohr des Lasers in einem Mikrowellenhohlleiter angebracht ist. Die Ausbildung heißer Plasmaschichten an der Wand, durch die die Mikrowelle in das Gasentladungsrohr eingekoppelt wird, dadurch vermieden, daß das Gas im Einkoppelbereich der Mikrowelle nach Passieren eines Strömungsformers an Zündstiften gezündet wird und sich im Gasentladungsrohr strömungsbedingt ausbreitet. Zonen mit kritischer Elektronendichte werden durch die Strömung abtransportiert und können sich daher nicht in Richtung der Einkoppelstellen ausdehnen.

Bei diesem Verfahren gelingt jedoch die Vermeidung heißer Plasmaschichten in Wandnähe nur, wenn der Durchmesser des Gasentladungsrohres klein ist gegenüber den Abmessungen des umschließenden Mikrowellenhohlleiters.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein einfacheres Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Vermeidung heißer Plasmaschichten in Einkoppelbereichen zu schaffen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß ein stehendes Mikrowellenfeld so in das Gas eingekoppelt wird, daß die Einkopplung im Bereich von Wellenknoten des Feldes stattfindet. Ein im Gas entstehendes Plasma wird sich dadurch nicht mehr bis zur Einkoppelstelle der Mikrowelle in das Gas ausdehnen, da die elektrische Feldstärke nahe der Einkoppelstelle für eine Zündung oder Anregung nicht mehr ausreicht. Die vorzeitige Reflexion der Mikrowelle wird so vermieden und diese dringt zuverlässig in das Innere des Gases ein. Außerdem wird eine Überhitzung nahe der Einkoppelstelle vermieden, so daß dort befindliche Wände oder Mikrowelleneintrittsfenster nicht beschädigt werden. Es hat sich gezeigt, daß dieses Verfahren, eingesetzt bei einem Gaslaser, einen effektiven Laserbetrieb ermöglicht.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens liegen Wellenknoten gerade innerhalb des Gases. Vom Inneren des Gases aus gesehen ist damit die elektrische Feldstärke unmittelbar vor Einkoppelstellen praktisch verschwunden. Spätestens im Bereich dieser Wellenknoten erfolgt keine Gaszündung oder -anregung mehr. Außerdem wird so erreicht, daß die höchsten elektrischen Feldstärken und somit die Zündungs- oder Anregungsorte weit im Gasinnern liegen. Das ausgestaltete Verfahren ist daher effektiver.

Bei einer weiteren Verbesserung des Verfahrens werden im stehenden Mikrowellenfeld Mikrowellenpulse überlagert. Die Mikrowellenpulse unterstützen die Zündung oder Anregung des Gases. Da es sich um Pulse handelt, wird eine kontinuierliche Energiezufuhr und damit eine kontinuierliche Plasmaausdehnung in Richtung Einkoppelstellen vermieden. Dies erlaubt eine Gaszündung oder -anregung bei erhöhtem Gasdruck.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird weiter gelöst durch eine Vorrichtung, bei der die Maße des Hohlleiters so sind, daß sich ein stehendes Mikrowellenfeld ausbildet und bei dem das Gefäß so angeordnet ist, daß die elektrische Feldstärke der Mikrowellen an den Einkoppelstellen in das Gefäß minimal ist.

Die Vorrichtung ermöglicht die Durchführung des Verfahrens. Aufgrund der geringen elektrischen Feldstärke an den Einkoppelstellen bildet sich hier keine Plasmaschicht mit hoher Elektronendichte aus.

Vorteilhaft ist die Vorrichtung mit einer Einrichtung zur Überlagerung der Mikrowellen mit Mikrowellenpulsen ausgestattet. Mit einer solchen Vorrichtung ist eine Gaszündung oder -anregung bei erhöhtem Gasdruck möglich.

Bei einer weiteren verbesserten Ausführungsform ist der Mikrowellenhohlleiter T-förmig und mit Sender am Fuß des T ausgestaltet, ist der Mikrowellenhohlleiter so bemessen, daß im oberen T-Querbalken das stehende Wellenfeld eine Wellenlänge lang ist und ist das rohrförmig mit 1/2 Wellenlänge Durchmesser ausgestaltete Gefäß an der Hohlleiterwand entlang geführt, die maximal vom Sender entfernt liegt. Diese Ausführungsform kann erfolgreich bei einem Gaslaser eingesetzt werden. Ein sehr effektiver Betrieb eines CO-Lasers ist damit möglich.

Im folgenden wird eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens näher erläutert. Sie ist in der Zeichnung schematisch dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1 Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Fig. 2 graphische Darstellung der Verteilung der

elektrischen Feldstärke im Mikrowellenhohlleiter.

Fig. 3 Längsschnitt durch den MW-Hohlleiter aus Fig. 1 mit Entladungsrohr, das für den Betrieb eines mikrowellenangeregten Gaslasers, mit einem Einlauf für die Gasströmung, einem Mikrowellenabschluß und einem Strömungsformer ausgestattet ist.

Fig. 4 Gesamtübersicht über eine Anordnung zum Betreiben eines Gaslasers mit Mikrowellenanregung.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Über eine nicht näher dargestellte Antenne des Mikrowellensenders 1 werden die Mikrowellen kontinuierlich bzw. gepulst abgestrahlt. Durch den mittels zwei Schrauben 2 und 3 impedanzangepaßten, rechteckigen Mikrowellenzuleiter 4 werden die Mikrowellen T-förmig in den Mikrowellenhohlleiter 5 eingespeist. Der das Gasentladungsrohr 6 umschließende Mikrowellenhohlleiter 5 weist einen rechteckigen Querschnitt auf.

Durch geeignete Dimensionierung des Mikrowellenhohlleiters 5 werden stehende Mikrowellen mit einer Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{xy} (7) über der Breite des Mikrowellenhohlleiters erzielt, wie sie in Fig. 2 gezeigt ist. Die Knotenlinien des elektrischen Feldes bilden eine Knotenebene 9, die den Mikrowellenhohlleiter 5 in zwei Bereiche 10 und 11 teilt.

In dem vom Mikrowellenzuleiter 4 weiter entfernten Bereich 11 ist das Gasentladungsrohr 6 so installiert, daß es einen geringfügigen Abstand sowohl zur Knotenebene 9 als auch zu den Wänden des Mikrowellenhohlleiters 5 hat.

Fig. 3 zeigt einen Längsschnitt durch Mikrowellenhohlleiter und Gasentladepulse. An den Stirnflächen 12 und 13 des Mikrowellenhohlleiters wird das elektrische Feld abgeschlossen, so daß sich eine Verteilung des in Fig. 2 gezeigten elektrischen Feldes E_{zy} (8) über der Länge des Mikrowellenhohlleiters einstellt, die im Einspeisungsbereich 14 ein Maximum aufweist. Die maximale elektrische Feldstärke im Gasentladungsrohr 6 stellt sich demnach in einer Ebene ein, die die Achse 15 des Gasentladungsrohres 6 enthält und parallel zur Knotenebene 9 und zusätzlich im Einspeisungsbereich 14 der Mikrowellen liegt.

Das Gas kann damit auf der gesamten Länge des Gasentladungsrohres 6, begrenzt durch die elektrischen Abschlüsse 12 und 13 gezündet werden, so daß eine großvolumige, gleichmäßige Gasentladung erzeugt werden kann.

Das Gasentladungsrohr 6 ist so angelegt, daß seine Achse 15 mit der optischen Achse des Resonators zusammenfällt, der durch die Spiegel 16 und 17 gebildet wird, von denen der Spiegel 16 vollständig und der Spiegel 17 teilweise reflektiert.

Das anzuregende Gas strömt senkrecht zur Mikrowelleneinspeisung durch die Gaszuführung 18 und das Gasentladungsrohr 6 ein. Gaszuführung 18 und Gasentladungsrohr bilden die T-Verzweigung 19. Sie ist durch den Mikrowellenabschluß 20 elektrisch abgeschlossen und nimmt die keramische Scheibe 21 auf, die als Strömungsformer ausgebildet ist.

Durch den Strömungsformer 21 wird eine weitere Homogenisierung der Gasentladung längs des Gasentladungsrohres 6 erzielt. Das Gas strömt dann axial durch das Gasentladungsrohr und tritt an den beiden Stirnseiten 22 und 23 aus. Ein zügiger Gasaustausch fördert eine homogene, großvolumige Gasanregung.

Fig. 4 zeigt beispielhaft eine Gesamtübersicht einer Anordnung zum Betreiben eines CO-Lasers mit Mikrowellenanregung, wobei der Gastransport als in sich ge-

schlossener Kreislauf ausgebildet ist. Das Gas setzt sich aus He, CO, N₂, Xe und O₂ zusammen.

Über den Gasregler 24 wird das Gas dem Kreislauf zugeführt. Der Walzkolbenverdichter 24 wälzt das Lasergas im geschlossenen System um, wobei die Kühlaggregate 25 und 26 im Gas für eine konstante Temperatur sorgen. Die Gasanregung erfolgt im Entladungsmodul, der aus dem Mikrowellenhohlleiter und dem Gasentladungsrohr besteht. Die von dem Mikrowellensender 1 abgestrahlten Mikrowellen werden durch die Mikrowellenzuleitung 4 in das Entladungsmodul eingespeist.

Während des Betriebes der Entladung wird zu Lasten von CO merklich CO₂ gebildet, wobei das parallel zum Entladungsmodul angeschlossene Molekularsieb 27 dafür sorgt, daß das für den Laserbetrieb schädliche CO₂ absorbiert wird. Der Gasregler 28 hält den Gehalt von CO und O₂ im System konstant.

Im Ausführungsbeispiel hat das Gasentladungsrohr 6 eine Länge von 0,3 m. Der Resonator ist durch zwei im Abstand von 1,5 m voneinander entfernte Spiegel 16 und 17 mit dem Durchmesser von 2" ausgebildet: einem Endspiegel 16 mit 99% Reflexion und 20 m Krümmungsradius und einem ebenen Auskoppelspiegel 17 mit 90% Reflexion.

Bei einer Zusammensetzung des CO-Lasergases von He: CO: N₂: Xe: O₂ = 81,6 : 6 : 6 : 0,4, einem Arbeitsdruck von 40 mbar, einer Gastemperatur von 300 K und mit einem 2,7 KW Mikrowellenherdsender, der Mikrowellen mit der Frequenz 2,45 GHz aussendet, ist eine maximale Laserausgangsleistung von 240 W — was 800 W/m entspricht — bei einer Wellenlänge von 5 µm über Stunden erzielt worden.

Der maximale Wirkungsgrad liegt bei 8%. Der Verbrauch von CO und O₂ beträgt ca. 0,02 l/min.

Die Laserausgangsleistung wächst linear mit der Mikrowelleneingangsleistung in dem getesteten Bereich von 1 — 3 KW Mikrowelleneingangsleistung an.

Bei einer eingekoppelten Mikrowellenleistung von 5,4 KW konnte mit der gleichen Anlage eine maximale Laserausgangsleistung von 440 W erzielt werden.

Eine Kühlung des Lasers ist nicht erforderlich, wenn der Quotient aus Feldstärke und Entladungsdruck 2—4 Volt/Meter Pascal beträgt. Pulse, die der kontinuierlichen Mikrowelle überlagert werden, hatten eine zeitliche Länge unter 1 µsec bei Repetitionsfrequenzen bis zu mehreren hundert Kilohertz. Die Spitzenleistung der Pulse überstieg die Leistung der kontinuierlichen Wellen um ein Mehrfaches.

Dieser Laser stellt somit einen Hochleistungs-CO-Laser dar, der bevorzugt zur Materialbearbeitung, insbesondere zum Schweißen, Schneiden, Bohren, Oberflächenveredeln, Zuschneiden, Kristallzüchten und Abschneiden von Oberflächenschichten aus der Gas- oder Flüssigphase eingesetzt werden kann.

Aufgrund seiner Wellenlänge von 5 µm eignet sich der CO-Laser auch zur Isotopentrennung.

Der CO-Laserstrahl kann im Gegensatz zu einem CO₂-Laserstrahl ohne große Verluste durch flexible Lichtleiter übertragen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zündung oder Anregung eines Gases mittels eingekoppelter Mikrowellen **dadurch gekennzeichnet**, daß ein stehendes Mikrowellenfeld (7) so in das Gas eingekoppelt wird, daß die Einkopplung im Bereich von Wellenknoten des

Feldes stattfindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenknoten im Einkoppelbereich gerade innerhalb des Gases liegen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem stehenden Mikrowellenfeld Mikrowellenpulse überlagert werden. 5

4. Vorrichtung zur Zündung oder Anregung eines Gases mittels von einem Mikrowellensender (1) ausgestrahlten Mikrowellen, bei der sich das Gas in einem von einem Mikrowellenhohlleiter (5) umschlossenen, aus dielektrischem Material bestehenden Gefäß (6) befindet, dadurch gekennzeichnet, daß die Maße des Hohlleiters (5) so sind, daß sich ein stehendes Mikrowellenfeld (7) ausbildet, daß das Gefäß so angeordnet ist, daß die elektrische Feldstärke der Mikrowellen an den Einkoppelstellen in das Gefäß (6) minimal ist. 10 15

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Überlagerung der Mikrowellen mit Mikrowellenpulsen. 20

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikrowellenhohlleiter T-förmig (4, 5) und mit Sender (1) am Fuß des T ausgestaltet ist, daß der Mikrowellenhohlleiter so bemessen ist, daß im oberen T-Querbalken (5) das stehende Wellenfeld (7) eine Wellenlänge lang ist, daß das rohrförmig mit $1/2$ Wellenlänge Durchmesser ausgestaltete Gefäß (5) an der vom Sender (1) abgewandten Hohlleiterwand entlang geführt ist. 25 30

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

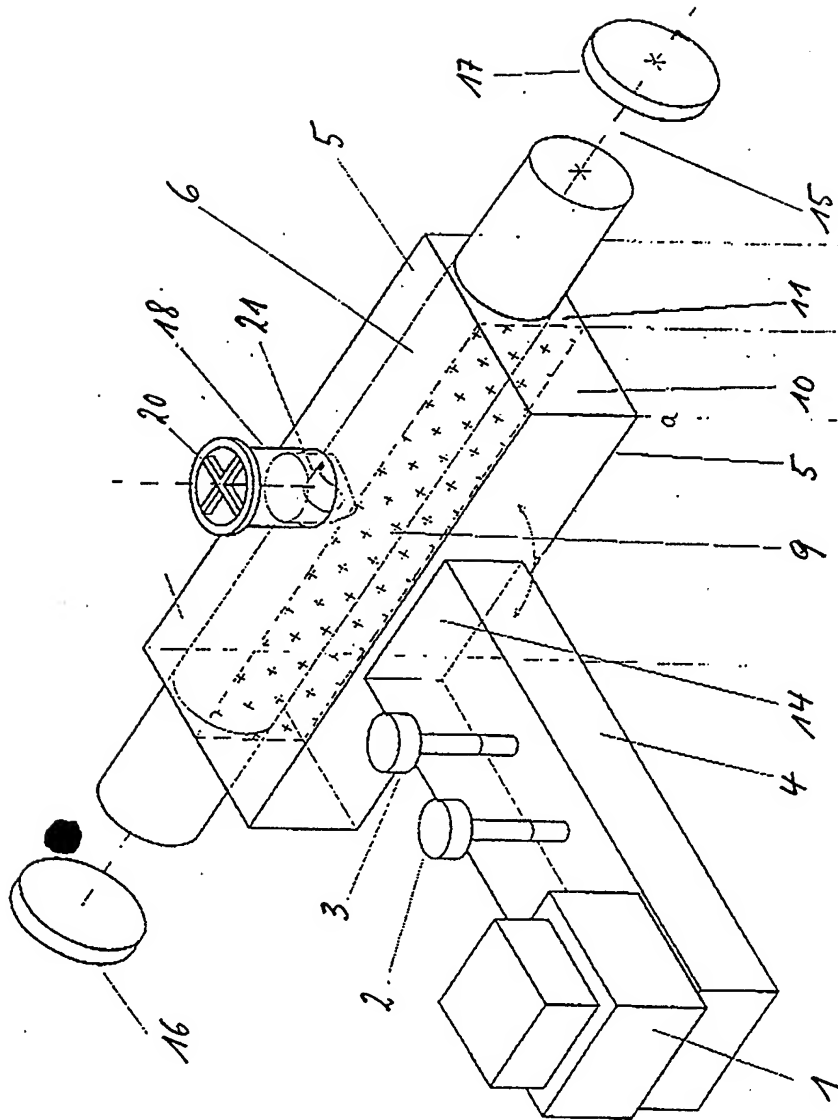


Fig. 1

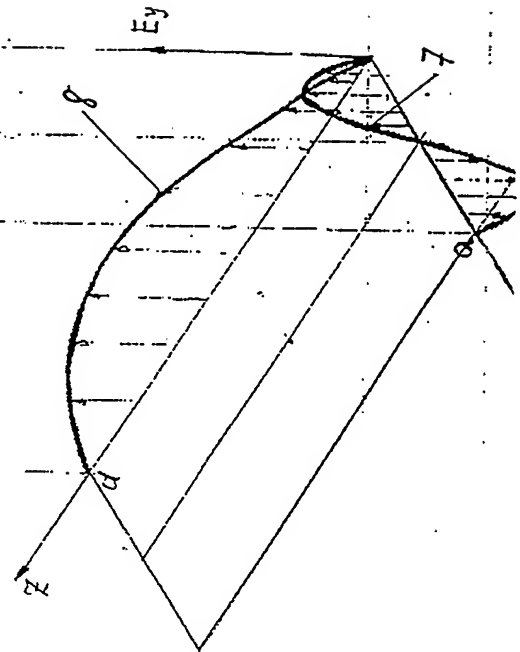
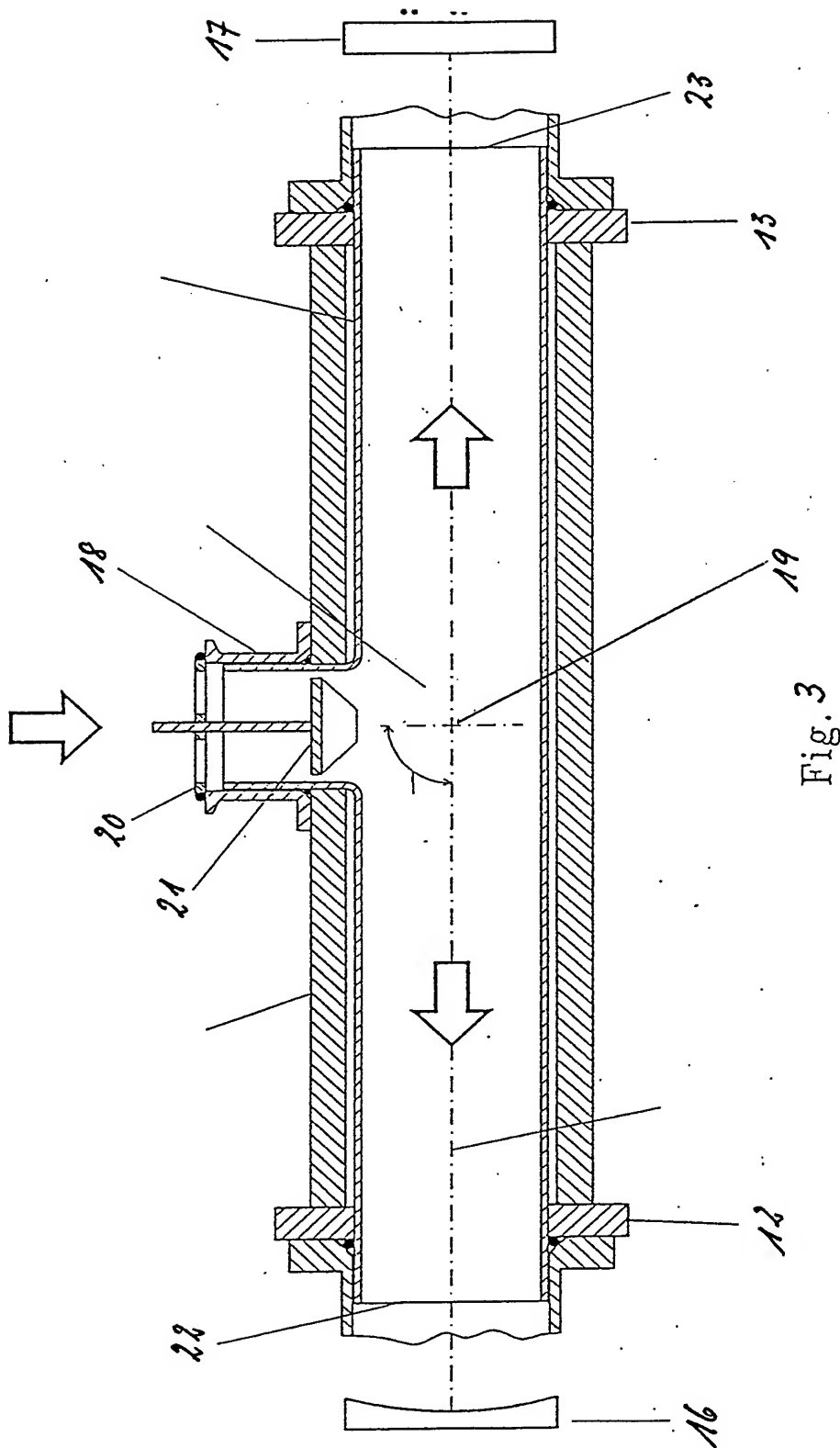


Fig. 2



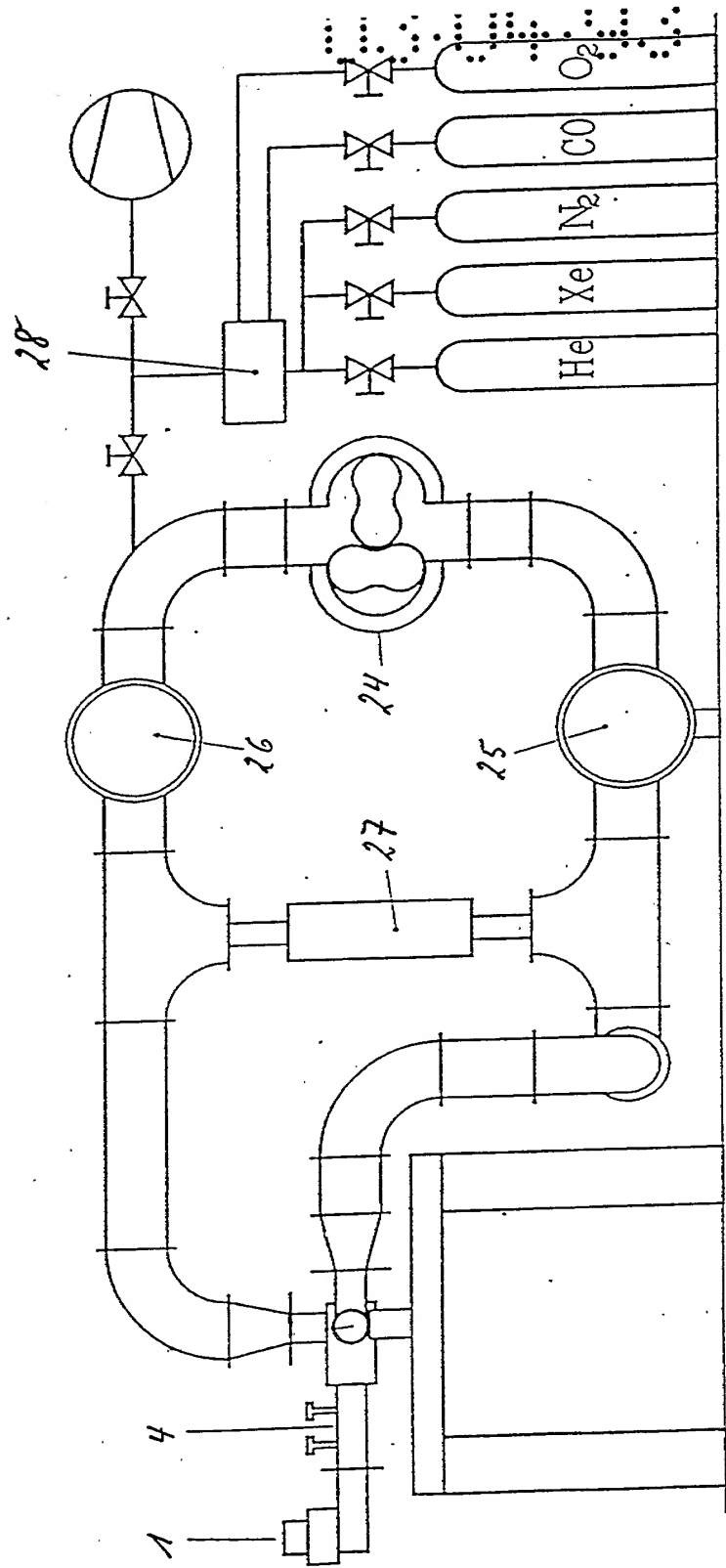


Fig. 4

PUB-NO: DE004311035A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 4311035 A1
TITLE: Ignition or excitation of
gas by standing microwave
field
PUBN-DATE: August 17, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
UHLENBUSCH, JUERGEN PROF DR	DE
LUO, XIAO DR	DE
SCHAEFER, J H DR	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
UHLENBUSCH J PROF DR	DE

APPL-NO: DE04311035
APPL-DATE: April 3, 1993

PRIORITY-DATA: DE04311035A (April 3, 1993)

INT-CL (IPC): H05H001/46 , H01S003/0975 ,
H01P005/00

EUR-CL (EPC): H01S003/0975 , H05H001/46

ABSTRACT:

The microwaves are radiated continuously or in pulses from a transmitter (1) into a rectangular waveguide feeder (4) with two impedance-matching screws (2,3). A T-junction leads into a main waveguide (5) surrounding the gas-discharge tube (6) between mirrors (16,17) of an optical resonator. Standing waves (7) are set up with a two-dimensional electric field distribution across the width of the waveguide, which is divided into two regions (10,11) by a node plane (9). The tube is installed in the region (11) further from the feeder, but close to both the node plane and the waveguide walls.